

### 1. שם ההצעה

**חקר יחסי הגומלין בין *Macrophomina phaseolina* ו-*Magnaporthiopsis maydis*  
כגורמי מחלה בכותנה ובתירס**

### 2. שמות השותפים למחקר

ד"ר אופיר דגני – חוקר ראשי, [ofird@telhai.ac.il](mailto:ofird@telhai.ac.il), מיגל - מכון למחקר מדעי בגליל, קריית שמונה  
פיטופתולוגיה והאינטראקציות של הפטרייה *H. maydis* עם צמח הפונדקאי.  
ד"ר רוני כהן – [ronico@volcani.agri.gov.il](mailto:ronico@volcani.agri.gov.il), היחידה לדלועיים, מרכז מחקר נווה יער, מנהל  
המחקר החקלאי. פיטופתולוגיה והאינטראקציות של הפטרייה *M. phaseolina* עם צמח  
הפונדקאי.  
גב' שלומית דור – [dorshlomit@gmail.com](mailto:dorshlomit@gmail.com), מיגל - מכון למחקר מדעי בגליל, קריית שמונה,  
אחראית לתיאום הפעילויות, ניהול העבודה והפעלת הפרוצדורות המחקריות הקשורות באבחון  
הפתוגנים והשפעותיהם.

### 3. רקע

מחלות מועברות בקרקע יכולות להיגרם על ידי קומפלקס של גורמי מחלה המשפעים אחד על השני ועל הצמח החולה. הפטרייה שוכנת הקרקע *Macrophomina phaseolina* הינה פתוגן הגורם מחלה במגוון פונדקאים (ובהם תירס וכותנה). בארץ הוא גורם לנזק רב בגידול הכותנה - התייבשות הצמחים בשלבי גידול מאוחרים והפחתת היבול בזנים רגישים (פימה). באופן דומה, הפתוגן *Magnaporthiopsis maydis* (שם קודם *Harpophora maydis*), גורם לנזק חמור בשדות תירס בשלבים מאוחרים לגידול (סמוך למועד הקטיף). מחלה זו המוכרת בשם "מחלת הנבילה המאוחרת" (Late wilt), התפשטה מאז גילוייה (שנות השמונים של המאה הקודמת) וכיום נפוצה במרבית אזורי גידול התירס בארץ. לאחרונה דיווחנו<sup>1</sup> כי הפתוגן *M. maydis* מתבסס גם בצמחי כותנה המשמשים לו כפונדקאי משני. מעורבות שני הפתוגנים במחלות בגידולי כותנה ותירס, מעלות שאלות חשובות לגבי השפעה הדדית אפשרית ביניהן על חומרת התסמינים והשלכותיה על יישומי הדברה אפשריים. **בניסוי עציצים, בתנאי שדה, לאורך עונת גידול מלאה, נבדקו זו שנה שניה יחסי הגומלין בין שני הפתוגנים שוכני הקרקע.** התוצאות חשובות לביסוס הממצאים שהתקבלו בשנה הראשונה למחקר (2018) וכשלב מקדים לקראת יצירת ממשק הדברה והמלצות לתכנון מחזור גידולים שיפחית את סיכויי התחלואה ויגדיל את כמות היבולים ואיכותם.

---

<sup>1</sup> Dor S. and Degani O., Uncovering the host range for maize pathogen *Magnaporthiopsis maydis*. *Plants* (2019), 8 (8), 259. ([Free full-text link](#)).

#### 4. מטרת הניסוי

לבחון את יחסי הגומלין בין הפטריות *M. phaseolina* ל- *M. maydis* והשפעתן על מחלות בפונדקאים תירס וכותנה, בעציצים, בתנאי שדה, לאורך עונת גידול מלאה.

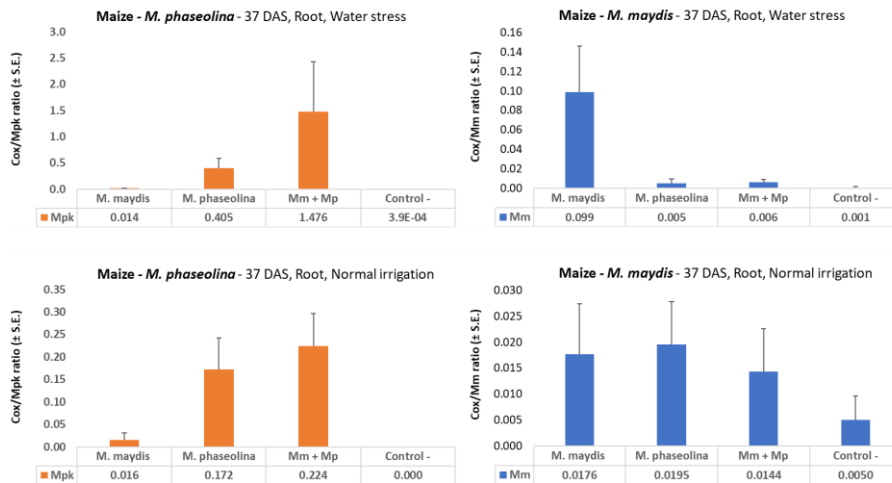
#### 5. תיאור הניסוי

בשנת המחקר הנוכחית (2019) ייושמו לקחים ושיפורים מתוך הלקחים של השנה שעברה ובהם שימוש באדמת נגועה בפטרייה *M. phaseolina* משדה נגוע מנאות מרדכי (במטרה לקבל תסמיני מחלה מוגברים בכותנה), ביצוע הניסוי בתנאי שדה והתאמות בתנאי הגידול (השקיה, דישון וכו'). הצמחים הפונדקאים, תירס וכותנה, אולחו בפטריות *M. phaseolina* ו- *M. maydis* בנפרד ובמשולב, ונבחנו אל מול ביקורת לא מטופלות (אדמה נגועה בצורה קלה מחוות גד"ש שליד צומת הגומא). בניסוי, נבחנה השפעת טיפולי האילוח על התפתחות תסמיני המחלה, על התפתחות הצמחים ועל רמות האכלוס בשני פתוגנים (איתור מולקולארי מבוסס Real time PCR ברקמות הצמח). בנוסף נבחנה בניסוי זה ההשפעה של עקת יובש (בהשקיה מופחתת) על חומרת תסמיני המחלה בטיפולים השונים. בתיס: השקיה בתנאי עקת יובש - השקיה בכמות של 2 ליטר פעם ביומיים לטיפול, ולאחר 49 ימים מזריעה הועלתה כמות המים ל- 4 ליטר פעם ביומיים. השקיה מיטבית - השקיה בכמות של 4 ליטר פעם ביומיים לטיפול, וביום 49 הועלתה כמות המים ל- 6 ליטר. בכותנה: השקיה בתנאי עקת יובש - השקיה של 4 ליטר לעציץ פעם ביומיים והשקיה מיטבית - השקיה של 4.8 ליטר לעציץ פעם ביומיים.

#### 6. תוצאות ומסקנות

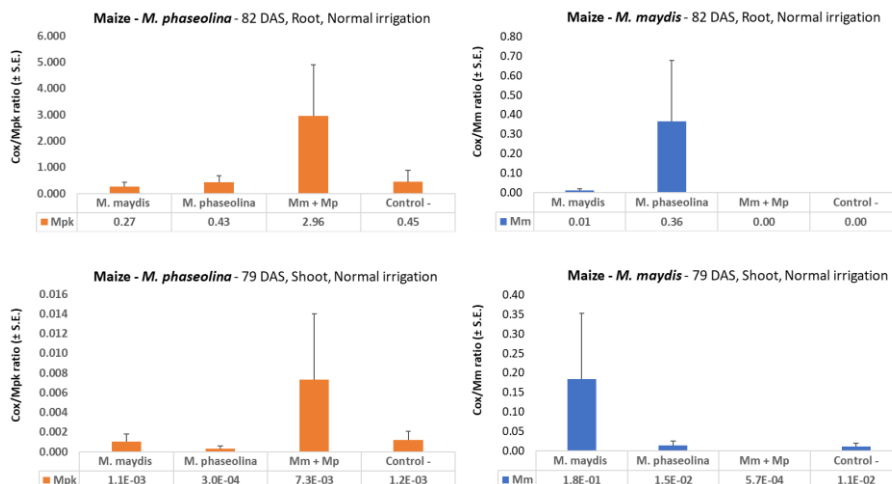
##### בתיס

מעקב אחר כמות ה- DNA בצמחים המאולחים ביום 37 לגידול מלמד כי בתיס, בחלקות בהן ניתנה מחצית ממכסת המים, הוגברה משמעותית כמות ה- DNA של שני הפתוגנים. בחלקות אלו האילוח בשני הפתוגנים (בהשוואה לאילוח ב- *M. maydis* לבד), הגביר את כמות ה- DNA של *M. phaseolina* אך הוריד את כמות ה- DNA של *M. maydis* (איור 1). בחלקות עם כמות מים רגילה, ההבדלים בין הטיפול בפתוגן אחד לטיפול בשני פתוגנים היטשטשו.



**איור 1 - כמותם היחסית של הפתוגנים *M. phaseolina* ו-*M. maydis* בשורשי נבטי תירס (37 יום מזריעה).** משמאל מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. phaseolina* (*Mpk*, עמודות כתומות). מימין מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. maydis* (*Mm*, עמודות כחולות). Water stress – הצמחים הושקו בכמות של 2 ליטר ליום, Normal irrigation – הצמחים הושקו בכמות של 4 ליטר ליום. Control: אדמה מחוות גדיש ללא אילוח נוסף. הערכים הם ממוצע של 10 חזרות  $\pm$  שגיאות תקן.

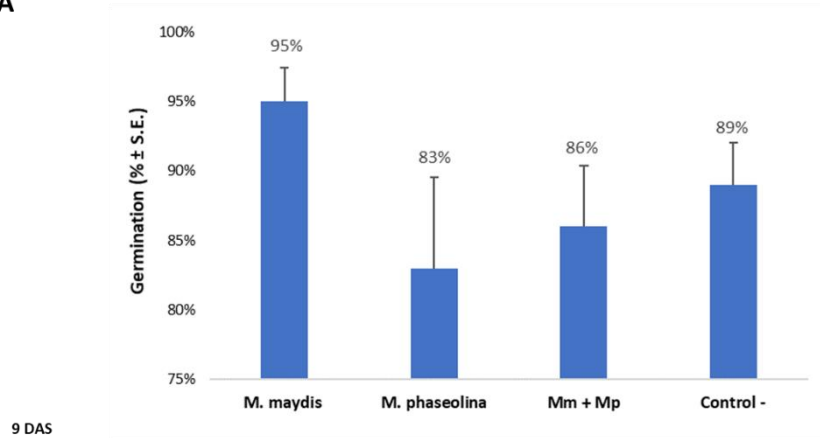
ביום 45 הייתה תקלה בברז 1 (החלקות עם כמות ההשקיה הפחותה) ולכן הצמחים סבלו ממסור חמור במים והניסוי בחלקות אלו נסתיים מוקדם מהצפוי לאחר 58 יום מהזריעה. בחלקות עם כמות השקיה רגילה (ברז 2), הניסוי נמשך עד תום, 79 יום מהזריעה, והתוצאות שהתקבלו דומות לאלו של יום 37 בברז 1 ולאלו של שנה קודמת (2018, עם כמות מים רגילה): בתירס, אילוח בשני הפתוגנים, העלה את כמות ה-DNA של *M. phaseolina* אך הוריד את כמות ה-DNA של *M. maydis* (איור 2).



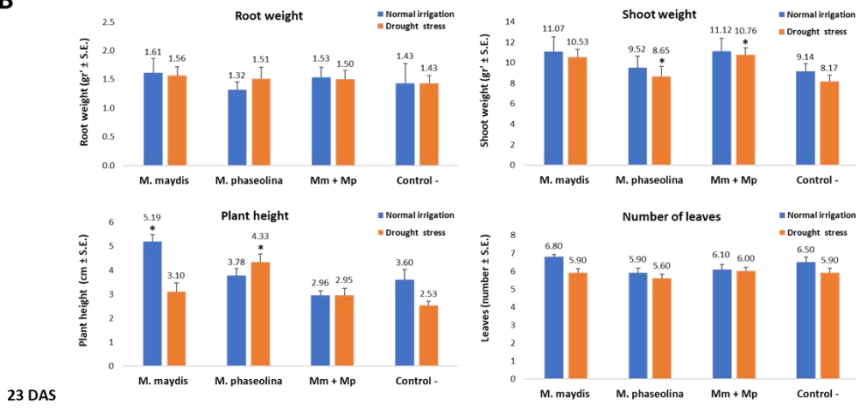
**איור 2 - כמותם היחסית של הפתוגנים *M. phaseolina* ו-*M. maydis* בגבעולי צמחי תירס בשורש ובגבעול.** התוצאות של השורש (83 יום מהזריעה) הן מ-2018 והתוצאות של הגבעול (79 יום מהזריעה) הן מ-2019. משמאל מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. phaseolina* (*Mpk*, עמודות כתומות). מימין מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. maydis* (*Mm*, עמודות כחולות). מוצגות תוצאות עבור השקיה מיטבית. תיאור הביקורת באיור 1. הערכים הם ממוצע של 10 חזרות  $\pm$  שגיאות תקן.

בתירס, לאחר 9 ימים, נמדדו אחוזי הצצה של 83-95% עם תוצאה גבוהה (אך לא מובהקת סטטיסטית) בטיפול האילוח ב- *M. maydis* (איור 3). שיפור מובהק סטטיסטית ( $P < 0.05$ ) נמצא, בגיל 23 יום, במשקל הנצר ובגובה הצמחים, בטיפול המשולב בשני הפתוגנים בתנאי יובש. יחד עם זאת עקת היובש גרמה לעיכוב בהתפתחות הצמחים שהיו ברובם, בגיל 58, בשלב ה-VT (tasseling) בעוד שבהשקיה מיטבית היו מרבית הצמחים בשלב ה-R1 (silking). האילוח המשולב בשני הפתוגנים האיץ את התפתחות הצמחים לשלב R1 והניב שיפור בגובה הצמחים בתנאי יובש (שאינו מובהק סטטיסטית). בתום הניסוי (79 יום מהזריעה), מדדי הצמיחה של השורש והנצר אינם מראים על הבדל מובהק סטטיסטית בין הטיפולים (איור 2). יחד עם זאת הטיפול המשולב בשני הפתוגנים (בהשוואה לאילוח עם *M. maydis* לבד) העלה את המשקל הממוצע של הקלחים מ- 78 ל- 98 גרם ואת גובה הצמחים הממוצע מ- 86 ל- 91 ס"מ. מגמות אלו תואמות את הירידה בכמות ה-DNA של *M. maydis* בטיפול המשולב (איור 2).

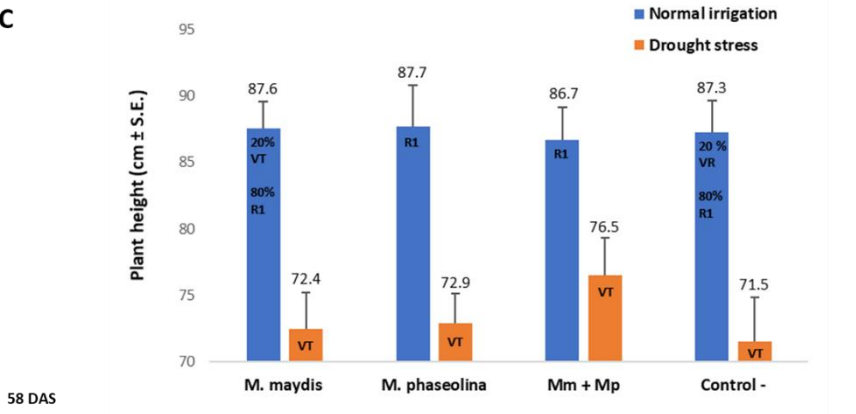
**A**



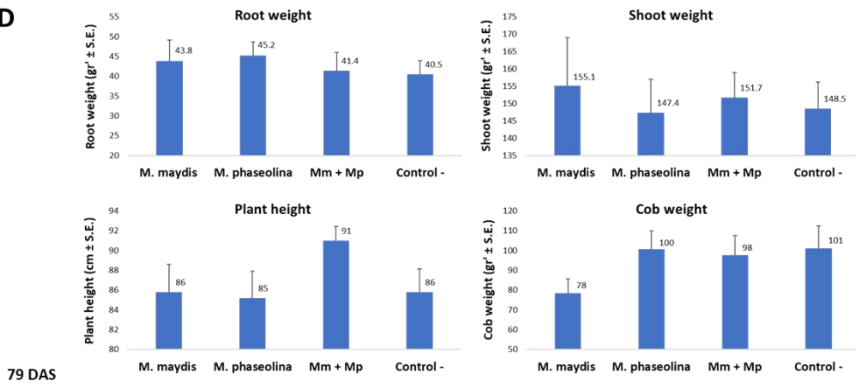
**B**



**C**

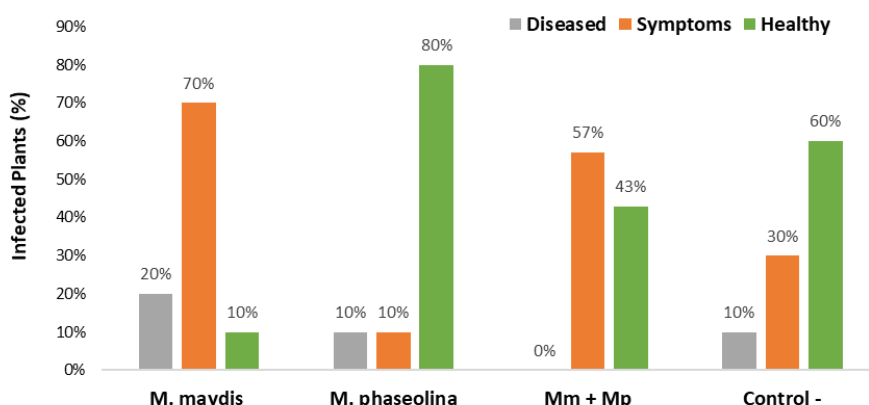


**D**



**איור 3 - איתור תסמינים בנתוני הגדילה של צמחי תירס.** ערכים נמדדו לאחר 9, 23, 58 ו-79 יום מהזריעה (D-A, בהתאמה). ערכי משקל הם משקל רטוב. תיאור הביקורת באיור 1. הערכים הם ממוצע של 10 חזרות ± שגיאות תקן.

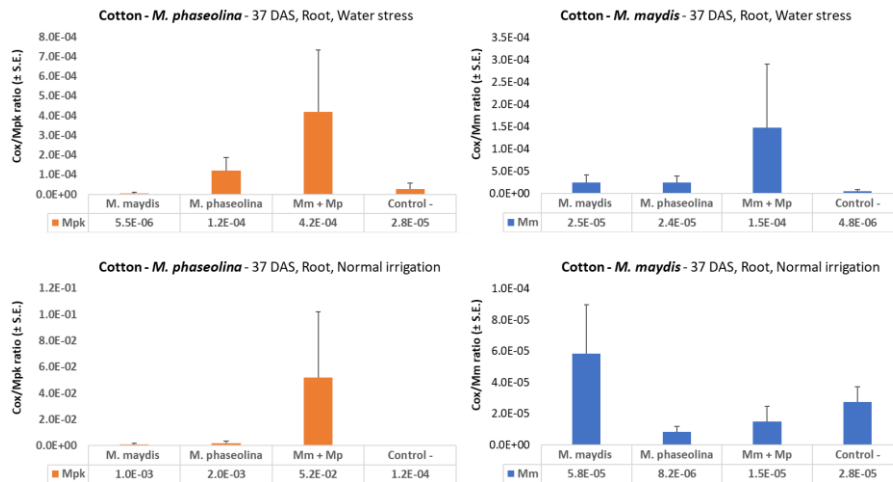
הערכת התייבשות של צמחי התירס מראה שקרקע מחוות גד"ש משדה שאין לה היסטוריה של נגיעות במחלה, ללא אילוח משלים, גרמה ל- 10% תמותה ול- 30% צמחים חולים (איור 4). האילוח ב- *M. maydis* לבד גרם ל- 20% תמותה ול- 70% צמחים עם תסמיני התייבשות. האילוח המשולב של פתוגן זה יחד עם *M. phaseolina* גרם לירידה משמעותית בתסמיני התייבשות וכמות הצמחים הבריאים עלתה מ- 10% ל- 43%. ממצא זה תואם את הירידה בכמות ה- DNA של *M. maydis* בטיפול המשולב (איור 2) ואת השיפור במדדי משקל הקלח וגובה הצמח (איור 3).



**איור 4 - הערכת התייבשות של צמחי התירס בתום הניסוי (79 יום מזריעה).** Diseased - צמחים שהיו יבשים ברובם או יבשים לגמרי, Symptoms - צמחים בעלית התייבשות חלקית של המפרק התחתון או עלי הקלח, Healthy - צמחים בריאים ללא תסמיני מחלה. תיאור הביקורת באיור 1. הערכים מייצגים 10 חזרות (עוצים שבבל אחד מהם צמח אחד).

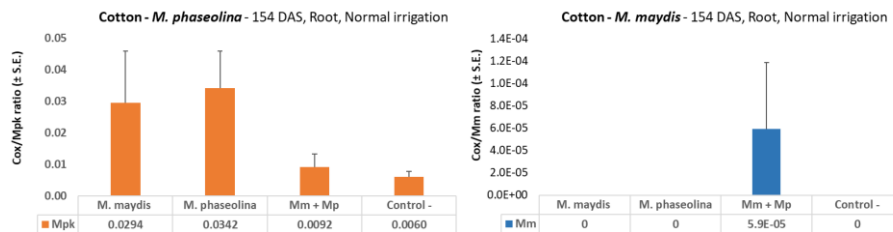
#### בכותרת

בדומה לתוצאות בשנה קודמת (2018), ביום 37 לגידול בתנאי עקת מים (איור 5), אילוח בשני הפתוגנים העלה את כמות ה- DNA של *M. phaseolina* ושל *M. maydis* (בהשוואה לאילוח בכל פתוגן לבד). בתנאי השקיה מיטביים (איור 5) השפעה דומה התקבלה לגבי *M. phaseolina* אך לגבי *M. maydis* המגמה השתנתה וכמות ה- DNA באילוח המשולב ירדה.



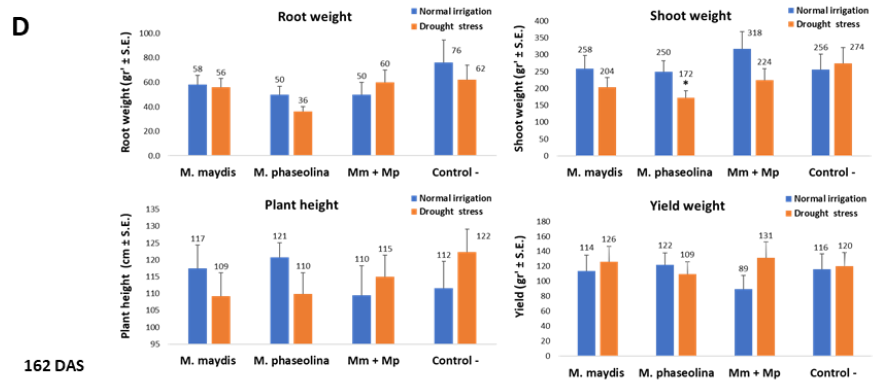
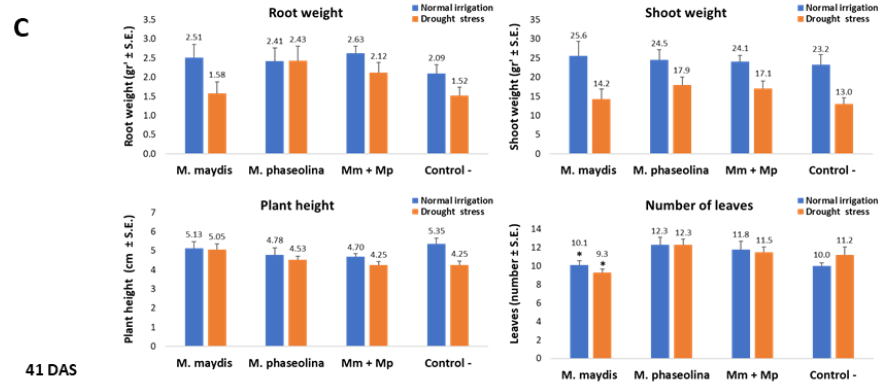
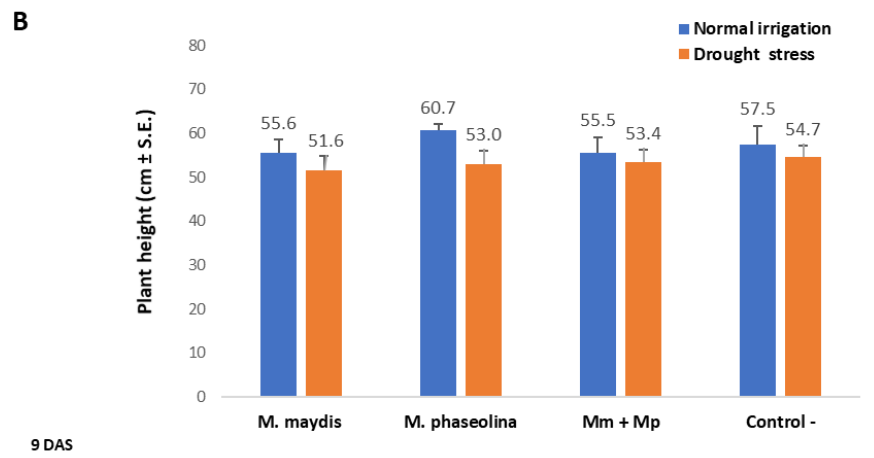
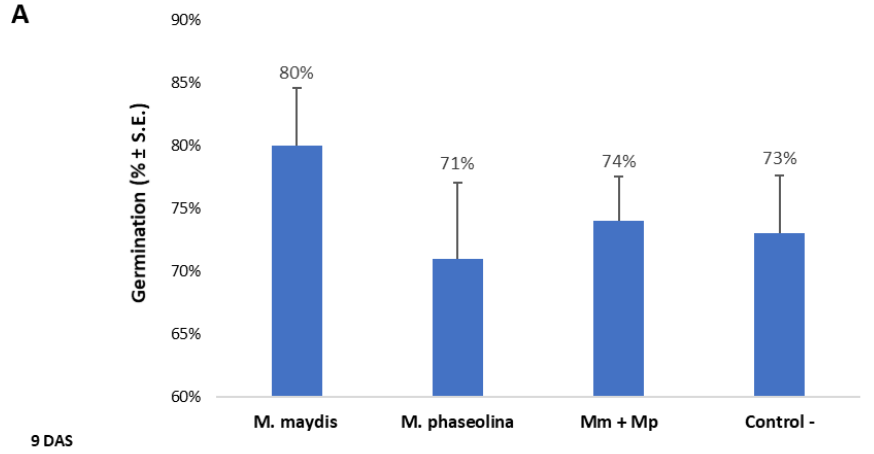
**איור 5 - כמותם היחסית של DNA הפתוגנים *M. phaseolina* ו-*M. maydis* בשורשי נבטי כותנה (37 יום מזריעה).** משמאל מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. phaseolina* (*Mpk*, עמודות כתומות). מימין מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. maydis* (*Mm*, עמודות כחולות). תיאור הביקורת באיור 1. הערכים הם ממוצע של 5 חזרות ± שגיאות תקן. Water stress – הצמחים הושקו ב-4 ליטר לעציץ פעם ביומיים Normal irrigation - הצמחים הושקו ב-4.8 ליטר לעציץ פעם ביומיים.

נתוני כמות ה-DNA של סוף עונת 2019 עדיין מעובדים, אך תמונת ה-DNA של שני הפתוגנים בצמחי הכותנה שקיבלנו ב-2018 בסוף העונה (154 יום מהזריעה, איור 6), תואמת את תמונת ה-DNA של שני הפתוגנים ביום 37 לגידול בתנאי היובש ב-2019 (איור 5).



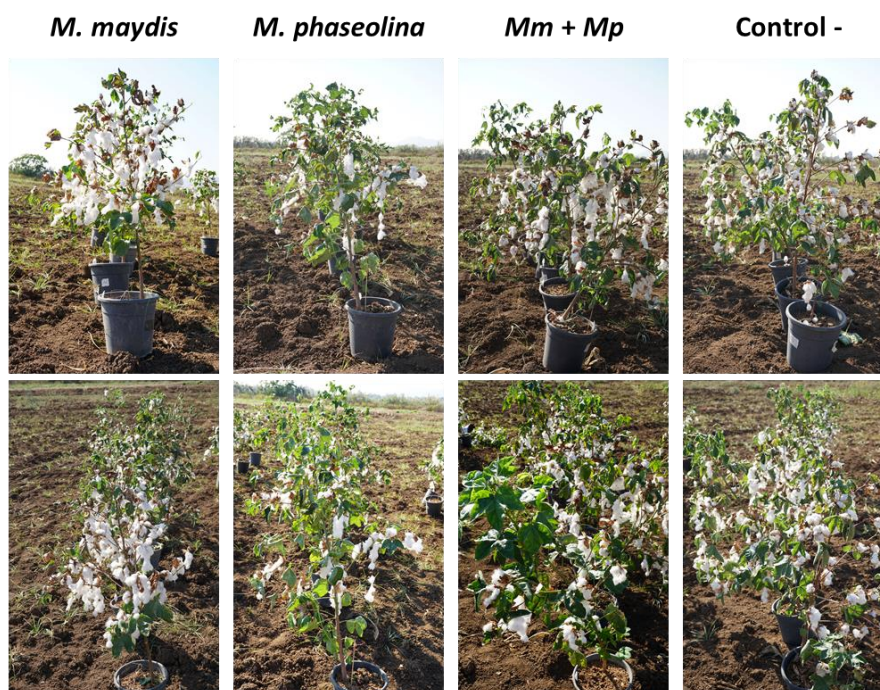
**איור 6 - כמותם היחסית של הפתוגנים *M. phaseolina* ו-*M. maydis* בגבעולי צמחי כותנה בגבעול (154 יום מהזריעה, ניסוי 2018).** משמאל מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. phaseolina* (*Mpk*, עמודות כתומות). מימין מוצגת כמות ה-DNA היחסית של הפתוגן *M. maydis* (*Mm*, עמודות כחולות). תיאור הביקורת באיור 1. הערכים הם ממוצע של 10 חזרות ± שגיאות תקן.

מדדי הצימוח בכותנה, לאחר 9 ו-41 יום מהזריעה, אינם מראים הבדל בין אילוח ב-*M. phaseolina* לאילוח משולב של פתוגן זה עם *M. maydis*. יחד עם זאת ביום 162 לגידול, ניתן לראות שיפור בכל מדדי הצימוח וביבול, בטיפול האילוח המשולב בתנאי יובש (איור 7), התואם את התוצאות שקיבלנו ב-2018. השינוי במדדי הצימוח ניכר גם בתמונת הצמחים (איור 8). ניכר שהשקיה מיטבית ממזערת את נזקי המחלה וממסכת את ההבדלים בין הטיפולים.





**איור 7 - איתור תסמינים בנתוני הגדילה של צמחי כותנה. ערכים נמדדו לאחר 9, 41 ו-162 יום מהזריעה (D-A, בהתאמה). ערכי משקל הם משקל רטוב. תיאור הביקורת באיור 1, תיאור הניסוי באיור 5. הערכים הם ממוצע של 10 חזרות  $\pm$  שגיאות תקן.**



**איור 8 - צילום צמחי כותנה בטיפול עקת היובש לאחר 162 יום מהזריעה. תיאור הביקורת באיור 1, תיאור הניסוי באיור 5. ניתן לראות עיכוב בהתפתחות בצמחים המאולחים ב- *M. phaseolina*.**

## **7. סיכום**

העבודה התמקדה בחקר יחסי הגומלין בין *M. phaseolina* ו- *M. maydis* כגורמי מחלה בכותנה ובתירס, בניסוי עציצים בתנאי שדה, לאורך עונת גידול מלאה. התוצאות משתי השנים שבהם בוצע הניסוי, 2018-2019, מוכיחות מעל כל צל של ספק את קיומם ההדדי של שני הפתוגנים בצמחי תירס וכותנה חולים. העבודה מציגה מידע שלם ועקבי לפיו קיימים יחסי אנטגוניסטיות (דיכוי הדדי) בין שני הפתוגנים בכותנה ובתירס הגורמים לירידה משמעותית של כל פתוגן בפונדקאי העיקרי שלו: של *M. maydis* בתירס ושל *M. phaseolina* בכותנה. השפעה זו ניכרת גם במדדי הגידול והיבולים שהשתפרו באופן משמעותי באילוח המשולב בשני הפתוגנים, בהשוואה לאילוח בכל פתוגן לבד. יחד עם זאת התוצאות מלמדות על אורח חיים סמוי כאנדופיט, של הפטרייה *M. maydis* בכותנה ועל כך שבפונדקאים משניים האילוח המשולב דווקא גורם לשגשוג הפטריות (של *M. maydis* בכותנה ושל *M. phaseolina* בתירס). בנוסף תומכות תוצאות עבודה זו בכך שהשקיה על סף יובש מגבירה את נוכחות הפתוגן *M. maydis* בצמחי תירס ואת חומרת תסמיני מחלת הנבילה המאוחרת. מעניין וחשוב יהיה לבחון בהמשך המחקר את התגובה המשותפת של שני פתוגנים אלו לטיפול הדברה שונים.

**תודות:** למועצה לייצור ושיווק כותנה על מימון המחקר, לד"ר און רבינוביץ על הייעוץ המקצועי, לדניאל רגב, יעל קנטר, ודקל אברהם על הסיוע באיסוף, אומדן ועיבוד הנתונים, לצוות חוות גד"ש גליל עליון.